Journal of Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 3, Fall 2023, p. 315-325

The Interaction of Organosilicon Surfactant Type and Spray Volume on Diclofop-methyl Efficacy in Control of Winter Wild Oat

A. Aliverdi[1*], S. Karami[2]

Received: 03-10-2022
Revised: 31-03-2023
Accepted: 09-04-2023
Available Online: 26-04-2023

How to cite this article:
Aliverdi, A., & Karami, S. (2023). The interaction of organosilicon surfactant type and spray volume on diclofop-methyl efficacy in control of winter wild oat. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *37*(3), 315-325. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.2023.79032.1108

Introduction

Diclofop-methyl is labeled for use in wheat and barley to control many grassy species, e.g., the genus *Avena*. Efforts should be made to use diclofop-methyl correctly, allowing the reduced doses to be applied. The response of herbicides to spray volume is different. After determining a suitable spray volume for a foliage-applied herbicide, the next step is to adjust it. The spray volume can be adjusted by two methods: the change in application speed or nozzle size. If less spray volume is necessary to apply an herbicide, it is needed to increase application speed. It causes the spray droplets to be more bounced or shattered from the leaf surface, causing the herbicide not to achieve optimal efficacy. Therefore, selecting a smaller orifice nozzle is much more applicable, of course, if the spray drift is controlled. The surface tension of water, which is used to spray herbicides, can be slightly reduced after adding the formulation of herbicides. Therefore, the relatively high surface tension of the spray solution poses three main problems. First, the spray droplets can easily be bounced off the leaf surface. Second, those remaining on the leaf surface after impact have a relatively spherical shape. Third, the crystalline wax in the cuticles, is considered an essential barrier to penetrating herbicides into the leaf tissues. It is well-established that the three main issues mentioned above can be addressed by selecting a suitable surfactant to add to the spray solution. This addition enables optimal efficacy of the herbicide. Consequently, numerous previous studies have highlighted the superiority of trisiloxane surfactants over non-silicone surfactants in enhancing herbicidal activity. This study aims to assess whether the effect of spray volume, adjusted by changing nozzle size, on the herbicidal activity of diclofop-methyl could be influenced by two types of trisiloxane surfactants – one with super wetting properties and the other with non-super wetting properties.

Materials and Methods

A greenhouse trial was performed as a dose-response relationship at the Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. The experiment was designed as a four-factor completely randomized design. The first factor was the dose of diclofop-methyl (Illoxan® EC 36%) including 0, 112.5, 225, 450, 900 (labeled dose), and 1350 g ha^{-1}. The second factor was spray volume, including 60, 120, 240, and 480 L ha^{-1}, which were adjusted using 1100075, 110015, 11003, and 11006 flat fan nozzle, respectively. The third factor was two types of trisiloxane surfactants, Break-Thru® S 233 having a non-super wetting property and Break-Thru® S 240 having a super wetting property. Both are non-ionic surfactants and manufactured by Evonik company in Germany. They formed their critical micelle concentration (CMC) at 0.1% v v^{-1} at which the surface tension of distilled water (72.1 mN m^{-1}) containing Break-Thru® S 233 and Break-Thru® S 240 was measured to be 24.1 and 22.6 mN m^{-1}, respectively.

1 and 2– Associate Professor and Ph.D. Student in Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: a.aliverdi@basu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jpp.2023.79032.1108

The fourth factor was surfactant concentration, including 0, 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, and 0.8% v v^{-1} (a range from ⅛ to 8 CMC, respectively). A compressor sprayer was used to apply the treatments at 300 kPa spray pressure. A nonlinear regression analysis was conducted to analyze the 'drc' using the software R.

Results and Discussion

A 40% increase in the ED_{50} value occurred with increasing the spray volumes from 60 to 480 L ha^{-1} (536.4 and 865.1 g ha^{-1}, respectively), indicating a negative relationship between diclofop-methyl activity and spray volume. Adding Break-Thru® S 233 at 0.025% v v^{-1} to 60, 120, 240, and 480 L ha^{-1} spray volumes caused a 1.16, 3.31, 2.04, and 2.13-fold decrease in the ED_{50} value compared with no surfactant at their corresponding spray volumes, respectively. While, adding Break-Thru® S 240 at 0.025% v v^{-1} to 60, 120, 240, and 480 L ha^{-1} spray volumes caused a 1.39, 1.32, 1.34, and 1.19-fold decrease in the ED_{50} value compared with no surfactant at their corresponding spray volumes, respectively. A decrease in the ED50, attributed to the addition of surfactants, signifies an enhanced activity of diclofop-methyl against sterile oat. This improvement may stem from a reduction in the surface tension of the spray solution, resulting in an expanded retention and/or spreading area of the spray droplets on the leaf surface. This, in turn, facilitates increased penetration of the herbicide into the leaf tissue. These findings indicate that Break-Thru® S 233 works better when added at low concentration to a low-volume spray solution, while Break-Thru® S 240 works better when added at high concentration to a low-volume spray solution. It can be attributed to the difference in the wetting property of surfactants. The natural relationship between diclofop-methyl activity and spray volume at higher concentrations of Break-Thru® S 233 may be related to its phytotoxic effect, resulting in an antagonism effect on diclofop-methyl activity against sterile oat. In the case of Break-Thru® S 240, the relationship mode between diclofop-methyl activity and spray volume was not affected by surfactant concentration indicating the lack of phytotoxic effect by this surfactant.

Conclusion

The current study revealed a negative relationship between diclofop-methyl efficacy and spray volume, which was adjusted by nozzle size. Although this finding differs from a previous study in which spray volume has been adjusted by application speed, they showed that the effect of spray volume on the herbicide's efficacy depends not only on herbicide but also on how it is adjusted. The smaller, more concentrated spray droplets are necessary to get a better action of diclofop-methyl against sterile oat. However, the negative relationship observed between diclofop-methyl efficacy and spray volume could also be observed with two types of trisiloxane when they surfactants, were used at 0.0125 to 0.1 v v^{-1}. While, when they were used at 0.2 to 0.8% v v^{-1}, the relationship mode changed from negative to neutral for Break-Thru® S 233, but it did not change for Break-Thru® S 240. Moreover, Break-Thru® S 240 works better when added at high concentration to a low-volume spray solution due to the danger of spray run-off, while Break-Thru® S 233 works better when added at low concentration to a low-volume spray solution due to its phytotoxic effect.

Keywords: Effective dose, Nozzle size, Organosilicon surfactant, Sterile oat, Spray volume

نشریه پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷ شماره ۳، پاییز ۱٤۰۲، ص. ۳۲۵-۳۱۵

اثر متقابل نوع مویان اُرگانوسیلیکونی و حجم پاشش بر کارایی دیکلوفوپ-متیل در کنترل یولاف وحشی زمستانه

اکبر علی‌وردی[1*] - سمیرا کرمی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۰

چکیده

در تحقیق گلخانه‌ای حاضر، اثر نوع مویان تری‌سیلوکسانی و حجم پاشش بر فعالیت علف‌کش دیکلوفوپ-متیل علیه یولاف وحشی زمستانه ارزیابی شد. تحقیق به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت که فاکتورها شامل مقدار علف‌کش (صفر، ۱۱۲/۵، ۲۲۵، ۴۵۰، ۹۰۰ و ۱۳۵۰ گرم در هکتار)، حجم پاشش (۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ لیتر در هکتار)، نوع مویان (بِریک-ترو اِس ۲۳۳ و بِریک-ترو اِس ۲۴۰) و غلظت مویان (صفر، ۰/۰۱۲۵، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی) بودند. ماده خشک یولاف وحشی زمستانه روی مقادیر دیکلوفوپ-متیل برازش داده شد تا مقدار علف‌کش لازم جهت کنترل ۵۰ و ۹۰ درصدی (ED_{50} و ED_{90}) بدست آید. در شرایط بدون مویان، با افزایش حجم پاشش از ۶۰ به ۴۸۰ لیتر در هکتار مقادیر ED_{50} به‌ترتیب از ۵۳۶/۴ به ۸۶۵/۱ گرم در هکتار و مقادیر ED_{90} به‌ترتیب از ۸۱۵/۳ به ۱۳۶۶/۸ گرم در هکتار افزایش یافت. رابطه‌ای منفی بین کارایی دیکلوفوپ-متیل و حجم پاشش مشاهده شد. این مشاهده با کاربرد هر دو مویان در غلظت‌های ۰/۰۱۲۵ تا ۰/۱ درصد حجمی نیز مشاهده شد. در غلظت‌های بالاتر، حالت رابطه از منفی به خنثی برای بِریک-ترو اِس ۲۳۳ تغییر کرد؛ ولی برای بِریک-ترو اِس ۲۴۰ این حالت تغییری نکرد. ضرورت قطرات پاشش کوچک‌تر و غلیظ‌تر برای عملکرد بهتر دیکلوفوپ-متیل محرز گردید. در حجم پاشش کم (۶۰ لیتر در هکتار)، بِریک-ترو اِس ۲۳۳ در غلظت کم (بین ۰/۱ تا ۰/۲ درصد حجمی) ولی بِریک-ترو اِس ۲۴۰ در غلظت بالا (بین ۰/۲ تا ۰/۸ درصد حجمی) کارآمدتر بودند.

واژه‌های کلیدی: حجم پاشش، شماره نازل، مقدار مؤثر، مویان ارگانوسیلیکون، یولاف وحشی زمستانه

مقدمه

علف‌کش دیکلوفوپ-متیل (بازدارنده بیوسنتز اسیدهای چرب) از خانواده شیمیایی آریلوکسی فنوکسی پروپیونات‌ها است که برای استفاده در گندم و جو جهت کنترل بسیاری از گونه های باریک‌برگ نظیر جنس یولاف برچسب شده است. در چنین گونه‌های حساسی، آنزیم استیل کوآنزیم آ کربوکسیلاز در مسیر بیوسنتز اسیدهای چرب توسط علف‌کش‌های گروه آریلوکسی فنوکسی پروپیونات مهار می شود. این عمل تقسیم سلولی و رشد سلولی را مختل کرده و منجر به مرگ علف‌های هرز می‌شود (Zhang *et al*., 2017). در گیاه زراعی و خاک، پیوند استری علف‌کش دیکلوفوپ-متیل می‌تواند به ترتیب با و بدون دخالت آنزیمی به اسید مربوطه خود (دیکلوفوپ) هیدرولیز شود. سپس دیکلوفوپ اسید مجدداً هیدرولیز می‌شود تا برخی از مواد تجزیه‌ای را تشکیل دهد. در نتیجه، هیچ باقیمانده‌ای از علف‌کش مادری و اسید مربوط به آن در هنگام برداشت گیاه زراعی قابل تشخیص نیست (Tandon, 2019). با این حال بداوی و همکاران (Badawi *et al*., 2015) گزارش کردند که مواد تجزیه‌ای مشتق شده از علف‌کش فلوآزیفوپ-بوتیل می‌توانند سریع‌تر از خود

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشیار و دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: a.aliverdi@basu.ac.ir
https://doi.org/10.22067/jpp.2023.79032.1108

فلوآزیفوپ–بوتیل شسته شوند. از نظر سمیت شناسی، مواد تجزیه‌ای مشتق شده از علف‌کش فنوکساپروپ–پی–اتیل سمیت بالایی برای کک آبزی مزین[1] نسبت به خود فنوکساپروپ–پی–اتیل دارند (Lin *et al*., 2007; Jing *et al*., 2016). به طور مشابه، کای و همکاران (Cai *et al*., 2007) گزارش کردند که مواد تجزیه‌ای مشتق شده از علف‌کش دیکلوفوپ–متیل نسبت به خود دیکلوفوپ–متیل سمیت بالایی برای ریزجلبک آب شیرین[2] دارند. بنابراین، باید تلاش‌های بیشتری برای استفاده صحیح از دیکلوفوپ–متیل و سایر علف‌کش‌های خانواده شیمیایی آریلوکسی فنوکسی پروپیونات صورت گیرد تا امکان اعمال مقادیر کاهش یافته آن‌ها فراهم شود.

معمولاً از آب به عنوان حامل برای پاشش علف‌کش‌ها استفاده می‌شود. در اولین قدم، باید مشخص شود که چه مقدار حجم پاشش یک علف کش از خانواده شیمیایی آریلوکسی فنوکسی پروپیونات مناسب است، زیرا تنظیم میزان حجم پاشش به عنوان روشی ساده برای دستیابی و استفاده از مقادیر کاهش یافته علف‌کش‌های شاخ و برگ مطرح است. پاسخ علف‌کش‌های خانواده شیمیایی آریلوکسی فنوکسی پروپیونات به حجم پاشش متفاوت است. در برخی از مطالعات، کاهش حجم پاشش باعث افزایش کارایی کلودینافوپ–پروپارژیل (Gauvrit and Lamrani, 2008)، فلوآزیفوپ–پی–بوتیل (Chandrasena and Sagar, 1989) و هالوکسی‌فوپ–آر–متیل (Aliverdi and Borghei, 2021) شده است. در برخی مطالعات دیگر، کاهش حجم پاشش باعث کاهش کارایی دیکلوفوپ–متیل (Knoche, 1994) و کویزالوفوپ–پی–اتیل (Sikkema, 2008) شده است. گاهی نیز هیچ اثر متقابلی بین کارایی علف‌کش‌های فنوکساپروپ–پی–اتیل (McMullan, 1995) و فلوآزیفوپ–پی–بوتیل (Creech, 2015) و حجم پاشش مشاهده نشده است. پس از تعیین حجم پاشش مناسب برای یک علف‌کش شاخ و برگ مصرف، قدم بعدی تنظیم آن است. حجم پاشش را می توان با دو روش تنظیم کرد: تغییر در سرعت حرکت سمپاش یا شماره نازل. اگر حجم پاشش پایین برای استفاده از علف‌کش لازم باشد، سرعت حرکت سمپاش نیز افزایش می‌یابد. این باعث می‌شود که قطرات پاشش بیشتر از سطح برگ مومی پرش کنند (Jensen, 2012)؛ لذا علف‌کش به کارایی مطلوب دست نیابد. بنابراین، انتخاب یک نازل با روزنه کوچکتر بسیار کارآمدتر خواهد بود، البته اگر بادبردگی پاشش کنترل شود. نوچی (Knoche, 1994) حجم پاشش برای علف‌کش دیکلوفوپ–متیل را از طریق تغییر سرعت حرکت سمپاش تنظیم کرد و نتیجه گرفت که کارایی این علف‌کش با کاهش حجم پاشش کاهش می‌یابد.

افزودن یک مویان به محلول پاشش علف‌کش‌های آریلوکسی فنوکسی پروپیونات را می‌توان راه دیگری برای کاهش مقدار کاربرد آن‌ها در نظر گرفت. کشش سطحی آب سمپاشی پس از افزودن فرمولاسیون علف‌کش‌های آریلوکسی فنوکسی پروپیونات‌ها به صورت جزئی کاهش می‌یابد (Gauvrit and Lamrani, 2008). کشش سطحی نسبتاً بالای محلول پاشش سه مشکل اصلی را ایجاد می‌کند: اول، قطرات پاشش به راحتی از سطح برگ مومی لغزیده و پایین می افتد، به ویژه از روی گونه‌های باریک برگ که دارای برگ‌های افراشته هستند (Jensen, 2012) یا از روی گونه‌هایی که برگ‌هایی با کرک متراکم دارند (Xu *et al*., 2010). دوم، آن‌قطراتی که پس از برخورد روی سطح برگ مومی باقی می‌مانند، شکل نسبتاً کروی دارند و در نتیجه سطح برگ خیس شده نسبتاً کمی دارند. این بدان معناست که آن‌ها به طور مؤثری در خیس کردن سطح برگ موفق نیستند؛ لذا در این حالت کارایی جذب و نفوذ علف‌کش به داخل بافت‌های برگ کاهش می‌یابد (Xu *et al*., 2011). سوم، موم بلورین در کوتیکول‌ها، به‌ویژه در گونه‌های باریک برگ (Knoche, 1994)، به عنوان مانعی اساسی برای نفوذ علف‌کش‌ها به بافت‌های برگ مطرح است (Schönherr *et al*., 2000). در چنین شرایطی، علف‌کش به کارایی مطلوب دست نخواهد یافت. به خوبی ثابت شده است که اگر یک مویان مناسب برای افزودن به محلول پاشش انتخاب شود، می توان بر سه مشکل اصلی اشاره شده در بالا غلبه کرده و به کارایی مطلوب علف‌کش دست یافت.

مولکول مویان دو بخش قطبی و غیر قطبی دارد به این صورت که سر مولکول مویان آب‌دوست و دم مولکول مویان چربی‌دوست است. مویان‌ها انواع مختلفی دارند. در یک مویان تری‌سیلوکسانی، سر آب‌دوست شامل سه سیلوکسان (سه اتم سیلیکون) است که به طور متناوب توسط دو اتم اکسیژن (–Si–O–Si–O–Si–) به هم مرتبط شده‌اند. ساختار تری‌سیلوکسانی به آن‌ها انعطاف پذیری بیشتر و توانایی بهتری برای کاهش کشش سطحی آب به حدود ۲۲ میلی نیوتون بر متر می‌دهد، در حالی‌که مویان‌های غیرسیلیکونی کشش سطحی آب را تا حدود ۳۴ میلی نیوتون بر متر کاهش می‌دهند (Gao *et al*., 2022). چنین توانایی از مویان‌های تری‌سیلوکسانی باعث می شود که آن‌ها پدیده منحصر به فردی به نام خیس کنندگی عالی[3] را نشان دهند. هنگامی که آن‌ها به محلول پاشش اضافه می‌شوند، قطرات پاشش می‌توانند زاویه قطره تقریباً صفر درجه را با سطح برگ تشکیل دهند. در مقایسه با قطره‌ای که حاوی مویان‌های غیرسیلیکونی هستند، این عمل باعث گسترش تقریباً ۵۰ برابری قطرات پاشش بر روی سطح برگ می‌شود (Saynal *et al*., 2008)

1- *Daphnia magna*
2- *Chlorella pyrenoidosa*
3- Super wetting

که منجر به افزایش تعداد روزنه‌های پوشیده شده توسط قطرات پاشش می‌شود (Penner, 2000). در نتیجه، آن‌ها نفوذ روزنه‌ای علف‌کش را تقویت کرده و منجر به جذب و انتقال بیشتر و سریع‌تر علف‌کش می‌شوند (Li *et al*., 2016;Singh and Singh, 2008). به همین دلیل، بسیاری از مطالعات قبلی گزارش داده‌اند که مویان های تری سیلوکسان نسبت به مویان‌های غیرسیلیکونی در افزایش کارایی علف‌کش‌های آریلوکسی فنوکسی پروپیونات‌ها نظیر کوئیزالوفوپ-پی-اتیل (Green, 1997)، سی‌هالوفوپ-بوتیل (Li *et al*., 2016). و بسیاری دیگر از علف‌کش‌ها با نحوه عمل متفاوت، برتری داشته‌اند (Saynal *et al*., 2008;Singh and Singh, 2008).

دو مشکل می‌تواند توانایی خیس کنندگی عالی مویان‌های تری سیلوکسان را تحت تاثیر قرار دهد که نهایتا این امر می‌تواند دستیابی به کارایی بهینه علف‌کش را مختل کند. اول، افزایش سطح پخش قطرات پاشش روی سطح برگ، زمان خشک شدن آن را کوتاه می کند (Zhou *et al*., 2018) و در نتیجه علف‌کش سریع‌تر تبلور و دسترسی آن برای جذب کوتاه می‌شود. برای حل این مشکل، همیشه یک خیس کننده به فرمولاسیون مویان‌های تری سیلوکسان اضافه می‌شود (Knoche, 1994). دوم، آن‌ها علف‌کش را از سطوح برگ، به ویژه در حجم‌های پاشش بالا، حرکت می‌دهند. به عبارتی، علف کش از روی برگ شسته می‌شود. برای حل این مشکل باید حجم پاشش کمتری انتخاب شود (Roehrig *et al*., 2018). علاوه بر این، تولیدکنندگان سعی کرده‌اند مویان‌های تری‌سیلوکسانی را توسعه دهند که علی‌رغم داشتن توانایی بالا در کاهش کشش سطحی، خاصیت خیس کنندگی عالی نداشته باشند؛ که یک نمونه از این نوع مویان‌ها بِریک-ترو اِس ۲۳۳ است (Sieverding *et al*., 2006). این مطالعه با هدف بررسی اثر متقابل بین نوع مویان اُرگانوسیلیکونی (یکی با خاصیت خیس کنندگی عالی و دیگری با خاصیت خیس کنندگی غیر عالی) و حجم پاشش بر کارایی علف‌کش دیکلوفوپ-متیل انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایشی گلخانه‌ای به صورت دز-پاسخ در دانشگاه بوعلی سینا همدان در سال ۱۴۰۰ انجام شد. بدین منظور، بذرهای یولاف وحشی زمستانه[1] در داخل ظروف پتری‌دیش قرار داده شدند و به آن‌ها محلول نیترات پتاسیم ۰/۲ درصد اضافه شد. این بذور در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد درون یخچال به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند. سپس، پتری‌دیش‌ها به دستگاه ژرميناتور با دمای تنظیمی ۲۰/۱۰ درجه سانتی‌گراد با دوره ۱۶/۸ ساعت منتقل و به مدت ۴۸ ساعت نگهداری شدند. سپس، پتری‌دیش‌ها به مدت ۴۸ ساعت در محیط آزمایشگاه در دمای حدوداً ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. تمام مراحل نگهداری بذرها (در یخچال، ژرميناتور و آزمایشگاه) در تاریکی انجام شد. پنج بذر جوانه زده با طول ریشه‌چه یک سانتی متر در عمق یک سانتی‌متری خاک در گلدان‌های پلاستیکی پر شده با ۱/۷ کیلوگرم خاک لومی-رسی حاوی ۰/۷ درصد ماده آلی کاشته شدند. سطح خاک گلدان‌ها حداقل یک بار در روز مرطوب می شد تا زمانی که گیاهچه‌ها شروع به ظهور کنند. سپس بوته‌ها در صورت نیاز هر چهار یا پنج روز یکبار به طور یکنواخت آبیاری و در مرحله سه برگی تیمار شدند. شرایط محیطی گلخانه دارای دمای هوا ۶ ± ۲۰ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۱۲ ± ۴۰ درصد بود.

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. اولین فاکتور مقدار دیکلوفوپ-متیل شامل صفر، ۱۱۲/۵، ۲۲۵، ۴۵۰، ۹۰۰ (مقدار توصیه شده) و ۱۳۵۰ گرم در هکتار بود. از فرمولاسیون ایلوکسان[2] ۳۶ درصد EC استفاده شد. فاکتور دوم حجم پاشش شامل ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ لیتر در هکتار بود که به ترتیب با استفاده از نازل بادبزنی لبه یکنواخت ۱۱۰۰۰۷۵، ۱۱۰۰۱۵، ۱۱۰۰۳ و ۱۱۰۰۶ تنظیم شد. بر اساس کاتالوگ، قطرات ۶۱ تا ۱۰۵ میکرون با نازل بادبزنی لبه یکنواخت ۱۱۰۰۰۷۵ (Hardi, 2022)، قطرات ۱۰۶ تا ۲۳۵ میکرون با نازل‌های بادبزنی لبه یکنواخت ۱۱۰۰۱۵ و ۱۱۰۰۳، و قطرات ۲۳۶ تا ۳۴۰ میکرون با نازل بادبزنی لبه یکنواخت ۱۱۰۰۶ (Agrotop, 2022) را می‌توان در فشار پاشش ۳۰۰ کیلو پاسکال ایجاد کرد. عامل سوم دو نوع مویان تری سیلوکسان بود: بِریک-ترو اِس ۲۳۳[3] که خاصیت خیس کنندگی غیر عالی و بِریک-ترو اِس ۲۴۰ [4] دارای خاصیت خیس‌کنندگی عالی بود. هر دو مویان غیر یونی بوده و توسط شرکت ایونیک[5] در آلمان تولید می‌شوند. آن‌ها غلظت میسل بحرانی خود را در ۰/۱ درصد حجمی تشکیل دادند که در این غلظت کشش سطحی آب مقطر (۷۲/۱ میلی نیوتون بر متر) حاوی بِریک-ترو اِس ۲۳۳ و بِریک-ترو اِس ۲۴۰ با استفاده از یک دستگاه کشش سطحی سنج مدل تی اِم-تی اِن-۵۵۵[6] به‌ترتیب برابر ۲۴/۱ و ۲۲/۶ اندازه‌گیری شد. فاکتور چهارم غلظت مویان بود که شامل صفر، ۰/۰۱۲۵، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، و ۰/۸ درصد حجمی بود (به ترتیب محدوده ای از یک هشتم تا هشت برابر غلظت میسل بحرانی). برای اعمال تیمارها در فشار پاشش ۳۰۰

1- *Avena sterilis* subsp. *ludoviciana* Durieu.

2- Illoxan®
3- Break-Thru® S233
4- Break-Thru® S240
5- Evonik
6- TM-TN-555

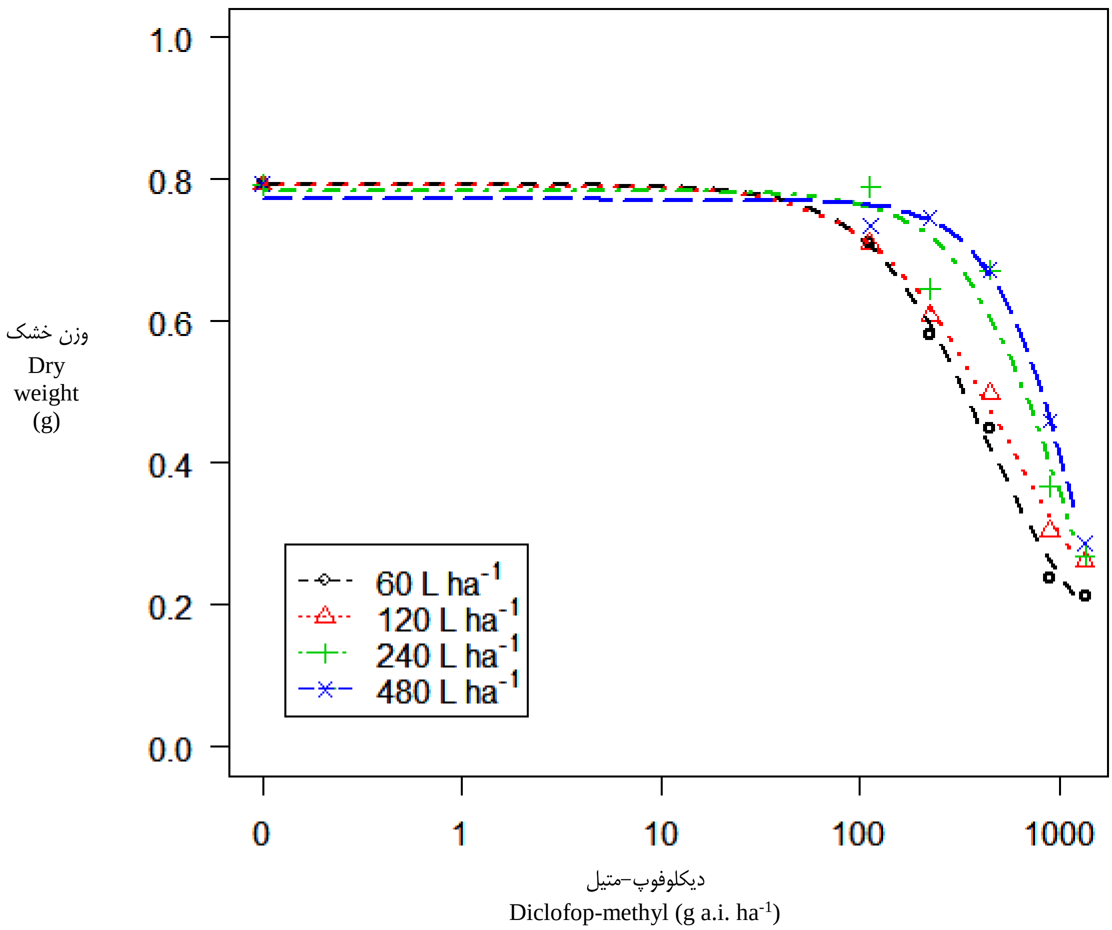
کیلو پاسکال از سمپاش فشاری مدل سولو ۴۶۱ آلمان استفاده شد. دمای هوا در زمان سمپاشی ۳ ± ۲۴ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۴ ± ۳۲ درصد بود.

اندام‌های هوایی گیاهان ۴ هفته پس از تیمار برداشت و به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس برای بدست آوردن ماده خشک وزن شدند. تجزیه و تحلیل رگرسیون غیرخطی در محیط نرم‌افزار R پس از نصب بسته نرم افزاری *'drc'* نسخه ۳,۵,۱ انجام شد. با استفاده از مدل چهار پارامتری لُجستیک، $Y = ((D - C) + C / (1 + exp (B (log X) - log E))$، ماده خشک یولاف وحشی زمستانه روی مقادیر دیکلوفوپ-متیل برازش داده شد تا مقدار علف‌کش لازم جهت کاهش وزن خشک ۵۰ درصدی بدست آید. چهار پارامتر مدل فوق *D*، *C*، *B* و *E* بودند که با استفاده از دستور *'summary'* تخمین زده شدند. *D* و *C* به‌ترتیب مقادیر حداکثر و حداقل مجانب *Y* هستند. *E* جایی است که *Y* در نیمه راه بین *D* و *C* قرار دارد و به اصطلاح مقدار علف‌کش مؤثر برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک یولاف وحشی (ED_{50}) است. *B* شیب خط رگرسیون غیرخطی برازش داده شده پیرامون *E* است. خطای استاندارد ED_{50}s در سطح معنی‌داری ۵ درصد برآورد شد و برای ارزیابی وجود تفاوت‌های معنی‌داری در بین ED_{50}ها استفاده شد (Ritz *et al*., 2015). با ED_{90}ها (مقدار علف‌کش لازم جهت کاهش وزن خشک ۹۰ درصدی) نیز رفتار مشابهی صورت گرفت. از آنجایی که روند تغییرات در ED_{50} و ED_{90} تقریباً یکسان بود و نیز پژوهش حاضر به صورت گلخانه‌ای انجام گرفته است، برای تفسیر و بیان نتایج صرفاً به ED_{50} اتکا شد.

نتایج و بحث

خطوط رگرسیون غیرخطی برازش داده شده برای ماده خشک یولاف وحشی روی مقادیر علف‌کش دیکلوفوپ-متیل پاشیده شده با چهار حجم پاشش بدون مویان در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، خطوط رگرسیون با افزایش حجم پاشش به سمت راست تغییر مکان داده‌اند. هنگامی که پارامتر ED_{50} برای هر خط به طور جداگانه برآورد شد، مشخص شد که افزایش در حجم پاشش باعث افزایش مقدار ED_{50} می‌شود (جدول ۱). تفاوت معنی‌داری بین مقادیر ED_{50} دیکلوفوپ متیل پاشیده شده با ۶۰ و ۱۲۰ لیتر در هکتار مشاهده نشد. اما، تفاوت معنی‌داری بین مقادیر ED_{50} دیکلوفوپ-متیل پاشیده شده با سایر حجم‌های پاشش مشاهده شد. یک افزایش ۴۰ درصدی در مقدار ED_{50} با افزایش حجم پاشش از ۶۰ به ۴۸۰ لیتر در هکتار (به‌ترتیب ۵۳۶/۴ و ۸۶۵/۱ گرم در هکتار) رخ داد که نشان دهنده وجود رابطه منفی بین کارایی علف‌کش دیکلوفوپ-متیل و حجم پاشش است. این رابطه منفی را می‌توان به دو دلیل نسبت داد: اول اینکه، حجم پاشش با شماره نازل در مطالعه فعلی تنظیم شد (۱۱۰۰۷۵، ۱۱۰۰۱۵، ۱۱۰۰۳، و ۱۱۰۰۶؛ همه نازل‌های بادبزنی لبه یکنواخت). همانطور که در بالا ذکر شد، کیفیت قطرک‌سازی نازل تحت تأثیر اندازه آن است. با افزایش شماره نازل، اندازه قطرات تولید شده نیز افزایش می‌یابد (Hardi, 2022; Agrotop, 2022). پیشتر، به خوبی ثابت شده است که قطرات درشت‌تر نسبت به قطرات کوچک‌تر آسان‌تر از سطح برگ پرش می کنند (Butts *et al*., 2018) لذا، این امر منجر به کاهش کارایی علف‌کش دیکلوفوپ-متیل در کنترل علف‌هرز یولاف وحشی زمستانه می‌شود. دوم، اینکه با کاهش حجم پاشش، غلظت قطرات پاشش افزایش می‌یابد. به همین دلیل یک گرادیان غلظتی برای علف‌کش دیکلوفوپ-متیل ایجاد می‌شود تا جریان بهتری از قطره پاشش به بافت برگ انتشار یابد (Aliverdi and Borghei, 2021) و در نتیجه کارایی علف‌کش دیکلوفوپ-متیل در کنترل علف‌هرز یولاف وحشی زمستانه افزایش می‌یابد. با ترکیب دو استدلال بالا، قطرات پاشش کوچکتر و غلیظتر برای عملکرد بهتر علف‌کش دیکلوفوپ-متیل مورد نیاز است. با این حال، نوچی (Knoche, 1994) دریافت که اگر حجم پاشش برای دیکلوفوپ-متیل با تغییر سرعت کاربرد (نه با تغییر شماره نازل) تنظیم شده باشد، نمی‌تواند بر کارایی آن تأثیر بگذارد. اگرچه یافته‌های مطالعات نوچی (Knoche, 1994) و ما متفاوت است، اما نشان از آن دارد که اثر حجم پاشش بر کارایی علف‌کش نه تنها به علف‌کش، بلکه به چگونگی تنظیم حجم پاشش نیز بستگی دارد.

در هر یک از چهار حجم پاشش، افزودن هر دو مویان در ۰/۰۱۲۵ درصد حجمی (یک هشتم غلظت میسل بحرانی) نتوانست بر مقدار ED_{50} علف‌کش دیکلوفوپ-متیل تأثیر بگذارد (جدول ۱). پیش از این، ناکارآمدی مویان‌ها در غلظت یک بیست و پنجم تا یک پنجم غلظت میسل بحرانی بر کارایی علف‌کش‌ها مشاهده شده بود (Green, 1996). در هر یک از چهار حجم پاشش، به جز در ۶۰ لیتر در هکتار با بریک-ترو اِس ۲۳۳ (ED_{50} برابر ۴۵۹/۶ گرم در هکتار)، زمانی که مویان‌ها در ۰/۰۲۵ درصد حجمی (یک چهارم غلظت میسل بحرانی) به محلول پاشش افزوده شدند، مقدار ED_{50} به طور قابل توجهی کاهش یافت. افزودن بریک-ترو اِس ۲۳۳ در غلظت ۰/۰۲۵ درصد حجمی به حجم‌های پاشش ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ لیتر در هکتار موجب کاهش ۱/۱۶، ۳/۳۱، ۲/۰۴ و ۲/۱۳ برابری در مقادیر ED_{50} به ترتیب در حجم پاشش مربوطه خود در مقایسه با بدون مویان شد.



شکل ۱- خطوط رگرسیون غیرخطی برازش داده شده برای ماده خشک یولاف وحشی زمستانه (گرم) روی مقادیر مختلف دیکلوفوپ-متیل (گرم ماده موثره در هکتار) که با حجم‌های پاشش ٦٠، ١٢٠، ٢٤٠ و ٤٨٠ لیتر در هکتار و بدون مویان پاشیده شده است.

Figure 1- The fitted nonlinear-regression lines for the dry matter of sterile oat (g) over the doses of diclofop-methyl (g a.i. ha^{-1}) spraying with 60, 120, 240, and 480 L ha^{-1} spray volumes without surfactant.

در حالی که، افزودن بِریک-ترو اِس ۲۴۰ در غلظت ۰/۰۲۵ درصد حجمی به حجم های پاشش ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ لیتر در هکتار موجب کاهش ۱/۳۹، ۱/۳۲، ۱/۳۴ و ۱/۱۹ برابری در مقادیر ED_{50} به ترتیب در حجم پاشش مربوطه خود در مقایسه با بدون مویان شد. افزودن بِریک-ترو اِس ۲۳۳ در غلظت ۰/۰۵ درصد حجمی (یک دوم غلظت میسل بحرانی) به حجم‌های پاشش ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ لیتر در هکتار موجب کاهش ۱/۴۱، ۳/۹۳، ۲/۵۹ و ۲/۱۲ برابری در مقادیر ED_{50} به ترتیب در حجم پاشش مربوطه خود در مقایسه با بدون مویان شد. در حالی که، افزودن بِریک-ترو اِس ۲۴۰ در غلظت ۰/۰۵ درصد حجمی به حجم‌های پاشش ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ لیتر در هکتار باعث کاهش ۲/۹۰، ۱/۵۰، ۱/۵۹ و ۱/۲۳ برابری در مقدار ED_{50} به‌ترتیب در حجم پاشش مربوطه خود در مقایسه با بدون مویان شد. افزودن بِریک-ترو اِس ۲۳۳ در غلظت ۰/۱ درصد حجمی (غلظت میسل بحرانی) به حجم‌های پاشش ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ لیتر در هکتار باعث کاهش ۲/۰۳، ۴/۲۶، ۴/۷۳ و ۴/۱۴ برابری در ED_{50} به‌ترتیب در حجم پاشش مربوطه خود در مقایسه با بدون مویان شد. در حالی که، افزودن بِریک-ترو اِس ۲۴۰ در غلظت ۰/۱ درصد حجمی به حجم‌های پاشش ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ لیتر در هکتار باعث کاهش ۳/۵۷، ۲/۲۲، ۱/۷۲ و ۱/۲۱ برابری در مقدار ED_{50} به ترتیب در حجم پاشش مربوطه خود در مقایسه با بدون مویان شد. کاهش ED_{50} با افزودن مویان‌ها نشان‌دهنده بهبود کارایی علف‌کش دیکلوفوپ-متیل علیه یولاف وحشی زمستانه است که می تواند به دلیل کاهش کشش سطحی محلول پاشش باشد که منجر به افزایش نشست پاشش (Jensen, 2012) و یا سطح پخش قطره بر روی برگ (Schönherr *et al.*, 2000) می‌شود. پخش شدن قطرات پاشش روی سطح برگ منجر به افزایش نفوذ علف‌کش به بافت برگ

می‌شود. با اندازه‌گیری نفوذ کوتیکولی و روزنه‌ای حشره‌کش کلرانترانیلی‌پرول به برگ سیب ثابت شده است که نسبت نفوذ کوتیکولی به نفوذ روزنه‌ای با افزودن بِریک-ترو اِس ۲۳۳ بیشتر از بِریک-ترو اِس ۲۴۰ است (Melo *et al*., 2019).

نتایج در محدوده غلظت‌های یک چهارم تا یک غلظت میسل بحرانی نشان داد که افزودن بِریک-ترو اِس ۲۴۰ به حجم پاشش ۶۰ لیتر در هکتار باعث پتانسیل نسبی بیشتر (که از نسبت ED_{50} بدون مویان به ED_{50} با مویان بدست می‌آید) نسبت به افزودن بِریک-ترو اِس ۲۳۳ شد (به ترتیب ۱/۳۹ در مقابل ۱/۱۶ در غلظت یک چهارم غلظت میسل بحرانی، ۲/۹ در مقابل ۱/۴۱ در یک غلظت دوم غلظت میسل بحرانی و ۳/۵۷ در مقابل ۲/۰۳ در غلظت میسل بحرانی). در حالی که در حجم‌های پاشش ۱۲۰ تا ۴۸۰ لیتر در هکتار، مقدار پتانسیل نسبی به نفع بِریک-ترو اِس ۲۳۳ تغییر کرد. از سوی دیگر، کمترین مقدار ED_{50} با افزودن بِریک-ترو اِس ۲۳۳ در غلظت‌های ۰/۰۵، ۰/۱، و ۰/۲ درصد حجمی به حجم پاشش ۱۲۰ لیتر در هکتار (به‌ترتیب ۱۵۷/۲، ۱۴۵/۱، و ۱۵۰/۰ گرم در هکتار) یا با افزودن بِریک-ترو اِس ۲۴۰ در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، و ۰/۸ درصد حجمی به حجم پاشش ۶۰ لیتر در هکتار (به‌ترتیب ۱۴۹/۹، ۱۴۸/۸، ۱۵۷/۲ و ۱۴۲/۸ گرم در هکتار) بدست آمد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که بِریک-ترو اِس ۲۳۳ زمانی که در غلظت کم به محلول پاشش کم حجم اضافه شود، بهتر عمل می‌کند؛ در حالی که بِریک-ترو اِس ۲۴۰ زمانی که در غلظت بالا به محلول پاشش حجم کم اضافه شود، بهتر عمل می‌کند. دلیل این مشاهده را می‌توان به تفاوت در خاصیت مرطوب کنندگی مویان‌ها نسبت داد. اگرچه تفاوت قابل توجهی بین کشش سطحی آب مقطر حاوی هر یک از مویان‌ها در غلظت میسل بحرانی (۲۴/۱ در مقابل ۲۲/۶ میلی‌نیوتون بر متر) مشاهده نشد که این نتیجه نیز مشابه مطالعات قبلی بود (Sieverding *et al*., 2006; Melo *et al*., 2019)، با این حال گزارش شده است که زاویه خیس شدن و سطح پخش است که قطرات حاوی آن‌ها در غلظت میسل بحرانی روی سطوح مختلف با جنس‌های کاملاً متفاوت از یکدیگر هستند. ملو و همکاران (Melo *et al*., 2019) یک زاویه خیس شدن ۶۸/۶ در مقابل ۳۹/۳ درجه را برای قطرات ۵ میکرولیتری حاوی به ترتیب بِریک-ترو اِس ۲۳۳ و بِریک-ترو اِس ۲۴۰ با سطح برگ گندم گزارش کردند. کوالچاک و همکاران (Kovalchuk *et al*., 2019) نیز یک سطح پخش ۹۰ در مقابل ۴۰۰ میلی متر مربعی برای قطرات ۵ میکرولیتری حاوی به ترتیب ریک-ترو اِس ۲۳۳ و بِریک-ترو اِس ۲۴۰ را بر روی سطح پلی اتیلن گزارش کردند. سیوردینگ و همکاران (Sieverding *et al*., 2006) سطح پخش ۱/۶ در مقابل ۵۳/۳ سانتی‌متر مربعی را برای قطرات ۵۰ میکرولیتری حاوی به‌ترتیب بِریک-ترو اِس ۲۳۳ و بِریک-ترو اِس ۲۴۰ روی سطح پلی پروپیلن گزارش کردند. گسکین و موری (Gaskin and Murray, 1997) به خوبی ثابت کرده‌اند که در هر غلظت از مویان تری سیلوکسان[1] با خاصیت خیس کنندگی عالی، با افزایش حجم پاشش، نشست قطرات روی سطح برگ گندم افزایش می یابد. اما راندمان جذب قطرات به دلیل پرش قطرات کاهش می‌یابد. علاوه بر این، آن‌ها گزارش کردند که در حجم پاشش کمتر از ۲۸۰ لیتر در هکتار، پرش قطرات رخ نمی‌دهد. در نتیجه، راندمان جذب قطرات در حجم پاشش کمتر و غلظت بالاتر مویان تری سیلوکسان با خاصیت خیس‌کنندگی عالی بیشتر است (Gaskin *et al*., 2000). در حالی که با یک مویان تری سیلوکسان با خاصیت خیس کنندگی غیر عالی، هنوز ظرفیت افزایش جذب روزنه‌ای با افزایش حجم پاشش بدون خطر پرش قطرات وجود دارد. با این حال، به نظر می‌رسد که این ظرفیت تا حدی به دلیل اثر نامطلوب حجم پاشش بر کارایی علف‌کش دیکلوفوپ-متیل محدود شده است. در غلظت‌های یک هشتم تا غلظت میسل بحرانی هر دو مویان، رابطه‌ای منفی بین کارایی علف‌کش دیکلوفوپ-متیل و حجم پاشش مشاهده شد. البته، اگر حجم پاشش ۶۰ لیتر در هکتار برای بِریک-ترو اِس ۲۳۳ در غلظت ۰/۱ درصد حجمی در نظر گرفته نشود. اما، در غلظت‌های ۲ تا ۸ برابر غلظت میسل بحرانی، حالت رابطه از حالت منفی به حالت خنثی برای بِریک-ترو اِس ۲۳۳ تغییر کرده است. در حالی که هنوز برای بِریک-ترو اِس ۲۴۰ حالت رابطه به صورت منفی بود. رابطه خنثی بین کارایی علف‌کش دیکلوفوپ-متیل و حجم پاشش در غلظت‌های بالای بِریک-ترو اِس ۲۳۳ ممکن است با اثر سمی آن مرتبط باشد که منجر به یک اثر تضاد بر کارایی علف‌کش دیکلوفوپ-متیل در کنترل یولاف وحشی زمستانه شده است (جدول ۱). به طور مشابه، تضاد کارایی علف‌کش‌های ریم سولفورون بر روی دم‌روباهی سبز[2] (Green, 1996) و گلایفوسیت بر روی گندم و باقلا[3] (Liu, 2004) قبلاً با افزایش غلظت مویان های غیرسیلیکونی گزارش شده است. علاوه بر این، یک مویان تری-سیلوکسانی (Silwet® L-77) با خاصیت خیس کنندگی عالی در غلظت بالا دارای اثر تضاد بر کارایی علف‌کش گلایفوسیت در کنترل گندم است (Gaskin and Stevens, 1993). هنگامی که از مویان در غلظت‌های بالا استفاده می‌شود، سلول‌های قرار گرفته در زیر قطرات پاشش ممکن است آسیب ببینند و در نتیجه جذب، انتقال و کارایی علف‌کش‌ها کاهش یابد. با این حال، اعتقاد بر این است که مویان در غلظت‌های بالا می‌تواند یک محیط ژلاتینی برای قطرات پاشش ایجاد کند و جذب، انتقال و کارایی علف‌کش‌ها را کاهش دهد (Green, 1996). در مورد بِریک-ترو اِس ۲۴۰، ارتباط بین کارایی علف‌کش دیکلوفوپ-متیل و حجم پاشش تحت تأثیر غلظت مویان

1- Silwet® 408
2- *Setaria faberi*
3- *Vicia faba*

قرار نگرفت که نشان دهنده غیر سمی بودن این مویان است. بنابراین، افزایش ED_{50} به سبب افزودن بِریک-ترو اِس ۲۴۰ در غلظت‌های بالا به محلول پاشش با حجم بالا، می‌تواند به ترکیبی از اثر نامطلوب حجم پاشش بر کارایی علف‌کش دیکلوفوپ-متیل و شستشوی قطرات پاشش مربوط باشد.

جدول ۱- مقادیر علف‌کش موثر (ED_{50} و ED_{90} برحسب گرم در هکتار ± خطای استاندارد) دیکلوفوپ-متیل برای کنترل یولاف وحشی زمستانه هنگامی که در حجم‌های پاشش و با انواع مویان‌ها در غلظت‌های مختلف استفاده شد.

Table 1- The effective dose (ED50 (g/ha^{-1}) ± standard error) values of diclofop-methyl against sterile oat when it was applied with different spray volumes, surfactant types, and surfactant concentrations

Surfactant مویان	Concentration (% v v^{-1}) غلظت مویان	Spray volume (L ha^{-1}) حجم پاشش			
		60	120	240	480
		(ED_{50} برحسب گرم در هکتار ± خطای استاندارد)			
No surfactant بدون مویان	0	536.4 ± 52.8	619.2 ± 31.2	801.6 ± 49.2	865.1 ± 44.4
Break-Thru® S 233	0.0125	546.6 ± 19.2	624.0 ± 38.4	734.4 ± 46.8	828.0 ± 49.2
	0.025	459.6 ± 27.6	187.2 ± 9.6	392.5 ± 22.9	405.6 ± 15.6
	0.05	378.0 ± 25.2	157.2 ± 10.8	308.3 ± 44.5	408.0 ± 34.9
	0.1 (CMC)	264.1 ± 9.6	145.1 ± 4.8	169.2 ± 14.4	208.7 ± 12.0
	0.2	280.8 ± 45.6	150.0 ± 19.2	180.0 ± 18.1	225.5 ± 26.4
	0.4	466.8 ± 44.4	448.8 ± 33.6	456.1 ± 50.4	387.6 ± 28.4
	0.8	565.2 ± 30.1	586.9 ± 46.7	591.3 ± 61.2	662.4 ± 46.9
Break-Thru® S 240	0.0125	567.6 ± 32.4	580.8 ± 26.4	670.9 ± 40.7	885.6 ± 22.8
	0.025	383.9 ± 43.2	466.9 ± 58.7	597.6 ± 30.0	722.4 ± 69.5
	0.05	184.8 ± 10.8	412.7 ± 36.0	495.3 ± 45.6	703.2 ± 74.4
	0.1 (CMC)	149.9 ± 6.0	278.4 ± 25.2	464.4 ± 16.8	711.5 ± 44.0
	0.2	148.8 ± 7.1	236.4 ± 16.8	457.2 ± 39.5	968.7 ± 60.1
	0.4	157.2 ± 8.4	292.6 ± 18.1	660.0 ± 57.6	976.8 ± 85.2
	0.8	142.8 ± 8.8	307.2 ± 27.6	706.8 ± 82.7	1120.4 ± 71.3
		(ED_{90} برحسب گرم در هکتار ± خطای استاندارد)			
No surfactant بدون مویان	0	815.3 ± 69.2	873.7 ± 49.9	1378.7 ± 68.8	1366.8 ± 59.4
Break-Thru® S 233	0.0125	792.5 ± 23.6	829.2 ± 21.0	1211.7 ± 55.3	1217.1 ± 36.9
	0.025	611.2 ± 35.1	303.4 ± 25.8	608.3 ± 24.7	697.6 ± 26.0
	0.05	642.6 ± 43.5	264.1 ± 23.3	566.7 ± 61.0	738.4 ± 49.1
	0.1 (CMC)	390.8 ± 12.5	195.6 ± 15.1	321.4 ± 32.9	378.5 ± 34.1
	0.2	476.0 ± 35.5	207.0 ± 23.7	349.2 ± 45.0	416.2 ± 34.3
	0.4	605.0 ± 52.1	631.6 ± 25.3	570.0 ± 43.9	526.3 ± 43.1
	0.8	910.1 ± 50.2	843.5 ± 65.0	868. 7 ± 43.1	840.7 ± 60.3
Break-Thru® S 240	0.0125	839.1 ± 39.7	788.8 ± 41.2	1078.7 ± 60.1	1327.5 ± 31.5
	0.025	486.4 ± 50.4	731.6 ± 51.9	865.5 ± 43.7	1162.4 ± 83.1
	0.05	303.6 ± 12.3	663.3 ± 38.5	866.5 ± 37.2	1230.3 ± 83.1
	0.1 (CMC)	216.0 ± 14.6	397.5 ± 31.9	812.1 ± 41.0	1237.4 ± 71.2
	0.2	259.0 ± 18.3	306.5 ± 21.0	827.1 ± 62.6	1655.2 ± 81.5
	0.4	204.1 ± 12.5	411.7 ± 34.5	818.4 ± 49.0	1278.6 ± 76.4
	0.8	218.6 ± 15.0	426.7 ± 30.1	995.0 ± 70.5	1332.2 ± 78.0

ED_{50} و ED_{90} به‌ترتیب نشان دهنده مقدار دیکلوفوپ-متیل (گرم در هکتار) است که باعث کنترل ۵۰ و ۹۰ درصد یولاف وحشی زمستانه می‌شود. غلظت بحرانی میسل به CMC مخفف شده است. حجم پاشش به‌ترتیب با استفاده از نازل‌های بادبزنی مسطح ۱۱۰۰۰۷۵، ۱۱۰۰۱۵، ۱۱۰۰۳ و ۱۱۰۰۶ تنظیم شده است.

The ED_{50} and ED_{90} is a dose of diclofop-methyl (g h^{-1}) causing 50 and 90% sterile oat control, respectively. The critical micelle concentration is abbreviated to CMC. The spray volumes were adjusted using 1100075, 110015, 11003, and 11006 flat-fan nozzles, respectively.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر رابطه منفی بین کارایی دیکلوفوپ-متیل و حجم پاشش را نشان داد که با شماره نازل تنظیم شده بود. اگرچه این یافته با مطالعه قبلی که در آن حجم پاشش با سرعت کاربرد تنظیم شده

است متفاوت است، اما نشان می‌دهد که اثر حجم پاشش بر فعالیت علف‌کش نه تنها به علف‌کش، بلکه به نحوه تنظیم آن نیز بستگی دارد. بنابراین، به نظر می‌رسد که قطرات پاشش کوچکتر و غلیظ تر برای عملکرد بهتر علف‌کش دیکلوفوپ متیل در کنترل یولاف وحشی زمستانه ضروری است. با این حال، رابطه منفی مشاهده شده بین کارایی علف‌کش دیکلوفوپ-متیل و حجم پاشش زمانی که از دو نوع مویان تری سیلوکسان که خاصیت خیس کنندگی متفاوتی داشتند در غلظت‌های ۰/۰۱۲۵ تا ۰/۱ درصد حجمی قابل مشاهده بود. در حالی که، کاربرد آن‌ها در غلظت‌های ۰/۲ تا ۰/۸ درصد حجمی، حالت رابطه را از منفی به خنثی برای بِریک-ترو اِس ۲۳۳ تغییر داد، اما برای بِریک-ترو اِس ۲۴۰ تغییری نکرد. در حجم پاشش کم (۶۰ لیتر در هکتار)، بِریک-ترو اِس ۲۳۳ در غلظت کم (بین ۰/۱ تا ۰/۲ درصد حجمی) ولی بِریک-ترو اِس ۲۴۰ در غلظت بالا (بین ۰/۲ تا ۰/۸ درصد حجمی) کارآمدتر بودند. در کشورمان، مقاومت یولاف وحشی زمستانه به علف‌کش دیکلوفوپ-متیل با مکانیسم مبتنی بر تغییر در محل هدف گزارش شده است که حاکی از کاربرد متوالی این علف‌کش در مقادیر مصرف بالاست. اگرچه با استفاده از مویان‌ها می‌توان مقادیر مصرف علف‌کش را کاهش داد، ولی اگر تناوب علف‌کشی صحیح اجرا نگردد، کاربرد مقادیر کاهش یافته دیکلوفوپ متیل (یا حتی سایر علف‌کش‌ها) می‌تواند مقاومتی مبتنی بر متابولسیم علف‌کش در علف‌های هرز را توسعه دهد.

منابع

1. Agrotop (2022) Catalog. https://www.agrotop.com/Katalog_109E/mobile/index.html. Accessed 4 May 2022.
2. Aliverdi, A., & Borghei, S.M. (2021). The effect of spray pattern and volume on Haloxyfop-r-methyl efficacy against wild barley (*Hordeum spontaneum*). (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JPP.2021.67963.1003
3. Badawi, N., Rosenbom, A.E., Olsen, P., & Sørensen, S.R. (2015). Environmental fate of the herbicide fluazifop-P-butyl and its degradation products in two loamy agricultural soils: A combined laboratory and field study. *Environmental Science & Technology*, *49*(15), 8995-9003. https://doi.org/10.1021/acs.est.5b00406
4. Butts, T.R., Samples, C.A., Franca, L.X., Dodds, D.M., Reynolds, D.B., Adams, J.W., ... & Kruger, G.R. (2018). Spray droplet size and carrier volume effect on dicamba and glufosinate efficacy. *Pest Management Science*, *74*(9), 2020-2029. https://doi.org/10.1002/ps.4913
5. Cai, X., Liu, W., Jin, M., & Lin, K. (2007). Relation of diclofop-methyl toxicity and degradation in algae cultures. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, *26*(5), 970-975. https://doi.org/10.1897/06-440R.1
6. Chandrasena, N.R., & Sagar, G.R. (1989). Fluazifop toxicity to quackgrass (*Agropyron repens*) as influenced by some application factors and site of application. *Weed Science*, *37*(6), 790-796. https://doi.org/10.1017/S0043174500072854
7. Creech, C.F., Henry, R.S., Werle, R., Sandell, L.D., Hewitt, A.J., & Kruger, G.R. (2015). Performance of postemergence herbicides applied at different carrier volume rates. *Weed Technology*, *29*(3), 611-624. https://doi.org/10.1614/WT-D-14-00101.1
8. Gao, X., Wang, D., Jiang, Z., Li, X., & Chen, G. (2022). Effect of adjuvants on the wetting behaviors of bifenthrin droplets on tea leaves. *Applied Sciences*, *12*(9), 4217. https://doi.org/10.3390/app12094217
9. Gaskin, R.E., & Stevens, P.J. (1993). Antagonism of the foliar uptake of glyphosate into grasses by organosilicone surfactants. Part 1: Effects of plant species, formulation, concentrations and timing of application. *Pesticide Science*, *38*(2-3), 185-192. https://doi.org/10.1002/ps.2780380213
10. Gaskin, R.E., & Murray, R.J. (1997, August). Effect of surfactant concentration and spray volume on retention of organosilicone sprays on wheat. In *Proceedings of the New Zealand Plant Protection Conference* (Vol. 50, pp. 139-142). https://doi.org/10.30843/nzpp.1997.50.11364
11. Gaskin, R.E., Elliott, G., & Steele, K.D. (2000). Novel organosilicone adjuvants to reduce agrochemical spray volumes on row crops. *New Zealand Plant Protection*, *53*, 350-354. https://doi.org/10.30843/NZPP.2000.53.3607
12. Gauvrit, C., & Lamrani, T. (2008). Influence of application volume on the efficacy of clodinafop-propargyl and fenoxaprop-P-ethyl on oats. *Weed Research*, *48*(1), 78-84. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2008.00599.x
13. Green, J.M. (1996). Interaction of surfactant dose and spray volume on rimsulfuron activity. *Weed Technology*, *10*(3), 508-511. https://doi.org/10.1017/S0890037X00040343
14. Green, J.M. (1997). Varying surfactant type changes quizalofop-P herbicidal activity. *Weed Technology*, *11*(2), 298-302. https://doi.org/10.1017/S0890037X00042986
15. Hardi. (2022) Catalog. https://myhardi.com.au/index.php/manuals/931-parts-and-components/file. Accessed 4 May 2022
16. Jensen, P.K. (2012). Increasing efficacy of graminicides with a forward angled spray. *Crop Protection*, *32*, 17-23. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.10.017

17. Jing, X., Yao, G., Liu, D., Liu, M., Wang, P., & Zhou, Z. (2016). Environmental fate of chiral herbicide fenoxaprop-ethyl in water-sediment microcosms. *Scientific Reports*, *6*(1), 1-7. https://doi.org/10.1038/srep26797
18. Knoche, M. (1994). Effect of droplet size and carrier volume on performance of foliage-applied herbicides. *Crop Protection*, *13*(3), 163-178. https://doi.org/10.1016/0261-2194(94)90075-2
19. Knoche, M. (1994). Organosilicone surfactant performance in agricultural spray application: a review. *Weed Research*, *34*(3), 221-239. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1994.tb01990.x
20. Kovalchuk, N.M., Dunn, J., Davies, J., & Simmons, M.J. (2019). Superspreading on hydrophobic substrates: effect of glycerol additive. *Colloids and Interfaces*, *3*(2), 51. https://doi.org/10.3390/colloids3020051
21. Li, J., Chen, W., Xu, Y., & Wu, X. (2016). Comparative effects of different types of tank-mixed adjuvants on the efficacy, absorption and translocation of cyhalofop-butyl in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* [L.] Beauv.). *Weed Biology and Management*, *16*(2), 80-89. https://doi.org/10.1111/wbm.12095
22. Lin, J., Chen, J., Cai, X., Qiao, X., Huang, L., Wang, D., & Wang, Z. (2007). Evolution of toxicity upon hydrolysis of fenoxaprop-p-ethyl. *Journal of agricultural and food chemistry*, *55*(18), 7626-7629. https://doi.org/10.1021/jf071009o
23. Liu, Z. (2004). Effects of surfactants on foliar uptake of herbicides–a complex scenario. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *35*(3-4), 149-153. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2004.02.016
24. McMullan, P.M. (1995). Effect of spray volume, spray pressure and adjuvant volume on efficacy of sethoxydim and fenoxaprop-p-ethyl. *Crop Protection*, *14*(7), 549-554. https://doi.org/10.1016/0261-2194(95)00061-5
25. Melo, A.A., Hunsche, M., Guedes, J.V., Hahn, L., & Feltrin, N.M. (2019). Study of the effects of adjuvants associated with insecticides on the physicochemical properties of the spray solution and characterization of deposits on wheat and maize leaves under simulated rain. *Engenharia Agrícola*, *39*, 315-322. http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n3p315-322/2019
26. Penner, D. (2000). Activator adjuvants. *Weed Technology*, *14*(4), 785-791. https://doi.org/10.1614/0890-037X(2000)014[0785:AA]2.0.CO;2
27. Ritz, C., Baty, F., Streibig, J.C., & Gerhard, D. (2015). Dose-response analysis using R. *PloS One*, *10*(12), e0146021. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146021
28. Roehrig, R., Boller, W., Forcelini, C.A., & Chechi, A. (2018). Use of surfactant with different volumes of fungicide application in soybean culture. *Engenharia Agrícola*, *38*, 577-589. https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n4p577-589/2018
29. Sanyal, D., Bhowmik, P.C., & Reddy, K.N. (2008). Effects of surfactants on primisulfuron activity in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* [L.] Beauv.) and green foxtail (*Setaria viridis* [L.] Beauv.). *Weed Biology and Management*, *8*(1), 46-53. https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2007.00273.x
30. Schönherr, J., Baur, P., & Uhlig, B.A. (2000). Rates of cuticular penetration of 1-naphthylacetic acid (NAA) as affected by adjuvants, temperature, humidity and water quality. *Plant Growth Regulation*, *31*(1), 61-74. https://doi.org/10.1023/A:1006354732358
31. Sieverding, E., Humble, G.D., & Fleute-Schlachter, I. (2006). A new herbicide adjuvant based on a non-super spreading trisiloxane surfactant. *Journal of Plant Diseases Protection* (Special Issue): 1005-1011.
32. Sikkema, P.H., Brown, L., Shropshire, C., Spieser, H., & Soltani, N. (2008). Flat fan and air induction nozzles affect soybean herbicide efficacy. *Weed Biology and Management*, *8*(1), 31-38. https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2007.00271.x
33. Singh, D., & Singh, M. (2008). Absorption and translocation of glyphosate with conventional and organosilicone adjuvants. *Weed Biology and Management*, *8*(2), 104-111. https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2008.00282.x
34. Tandon, S. (2019). Degradation of fenoxaprop-p-ethyl and its metabolite in soil and wheat crops. *Journal of Food Protection*, *82*(11), 1959-1964. https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-19-127
35. Xu, L., Zhu, H., Ozkan, H.E., & Thistle, H.W. (2010). Evaporation rate and development of wetted area of water droplets with and without surfactant at different locations on waxy leaf surfaces. *Biosystems Engineering*, *106*(1), 58-67. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.02.004
36. Xu, L., Zhu, H., Ozkan, H. E., Bagley, W.E., & Krause, C.R. (2011). Droplet evaporation and spread on waxy and hairy leaves associated with type and concentration of adjuvants. *Pest Management Science*, *67*(7), 842-851. https://doi.org/10.1002/ps.2122
37. Zhang, P., Wu, H., Xu, H., Gao, Y., Zhang, W., & Dong, L. (2017). Mechanism of fenoxaprop-P-ethyl resistance in Italian ryegrass (*Lolium perenne* ssp. *multiflorum*) from China. *Weed Science*, *65*(6), 710-717. https://doi.org/10.1017/wsc.2017.54
38. Zhou, Z., Cao, C., Cao, L., Zheng, L., Xu, J., Li, F., & Huang, Q. (2018). Effect of surfactant concentration on the evaporation of droplets on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaves. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 167*, 206-212. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2018.04.018